



**LES JEUNES
IHEDN**

[RECHERCHE]

LES DRONES AÉRIENS MILITAIRES

**DE L'OUTIL DE RENSEIGNEMENT À L'ARME DE
MASSE**



**Par Mehdi H. & Adrien H.
Groupe d'Études Scientifiques et Techniques**

Ce texte n'engage que la responsabilité des auteurs. Les idées ou opinions émises ne peuvent en aucun cas être considérées comme l'expression d'une position officielle de l'association Les Jeunes IHEDN.

SOMMAIRE

LES UAV : D'UN BALLON INCENDIAIRE A L'ARME DE MASSE : CENT CINQUANTE ANS DE RUPTURES TECHNOLOGIQUES	5
UNE HETEROGENEITE DES SYSTEMES QUI IMPOSE UNE GRILLE DE LECTURE COMMUNE	7
UNE POLYVALENCE CROISSANTE DES MISSIONS QUI REDISTRIBUE LES ROLES SUR LE CHAMP DE BATAILLE	9
L'ISR : la mission fondatrice, toujours centrale	9
L'attaque : du cycle <i>find-fix-finish</i> à la frappe consommable.....	11
La défense et la lutte anti-drones : une mission symétrique devenue prioritaire.....	13
Les missions de soutien : discrets mais structurants.....	15
UNE REVOLUTION DES USAGES QUI CONTRAINT LES ARMEES A REPENSER LEURS DOCTRINES	15
UN RETARD CAPACITAIRE FRANÇAIS QUI REVELE LES LIMITES D'UNE DOCTRINE HERITEE DES OPEX.....	16
DES BRIQUES TECHNOLOGIQUES CRITIQUES QUI DETERMINENT LA SUPERIORITE OPERATIONNELLE	21
Guerre électronique et brouillage : la brique la plus critique mais très coûteuse.....	21
IA embarquée et reconnaissance d'images : l'autonomie comme horizon.....	22
Architecture essaim et intelligence collective : la rupture à venir	24
UNE COMPETITION INDUSTRIELLE MONDIALE QUI PLACE LE VOLUME AU CŒUR DE LA STRATEGIE.....	24
DE NOUVEAUX ACTEURS QUI RECOMPOSENT LE MARCHE ET FONT EMERGER UN RISQUE DE BULLE.....	26
OUVERTURE : LES DRONES REMPLACERONT-ILS LES ARMES CONVENTIONNELLES ?	27

À PROPOS DE L'ARTICLE

Cet article est publié par le groupe d'étude scientifique et technique des Jeunes de l'IHEDN. Créé début 2025 il vise avant tout à rendre accessible les enjeux techniques et scientifiques, tout en les reliant aux enjeux doctrinaux et géopolitiques, afin d'avoir une meilleure compréhension des concepts d'ingénierie de défense.

À PROPOS DE L'AUTEUR



Mehdi H. est ingénieur diplômé de l'ISAE-SUPAERO. Il est membre du Groupe d'Études Scientifiques et Techniques au sein de l'équipe Drone des Jeunes-IHEDN.



Adrien H. est ingénieur dans un grand groupe de la BITD, il est engagé en tant que Chargé de Mission des Jeunes-IHEDN au sein du Groupe d'Études Scientifiques et Techniques, où il occupe le poste de chef de projet Drones.

Les UAV : D'un ballon incendiaire à l'arme de masse : cent cinquante ans de ruptures technologiques

De la première opération documentée en 1849 jusqu'à l'usage quasi-systématique en Ukraine, l'emploi des **UAV** (« *Unmanned Aerial Vehicle* ») a profondément et irréversiblement modifié la conduite des conflits. En un siècle et demi, le drone est passé d'un dispositif expérimental imprécis à un système central dans la conduite des opérations modernes.

En 1849, l'Empire d'Autriche déploie des ballons incendiaires dérivant au gré du vent contre Venise lors de la première guerre d'indépendance italienne. Le taux de succès est faible et les dégâts matériels limités, mais l'impact psychologique est réel. Ils viennent de conduire une attaque aérienne sans équipage embarqué. Ce principe fondateur ne sera véritablement industrialisé qu'au XXe siècle.

La première phase industrielle émerge durant la Première Guerre mondiale avec le Kettering Bug américain : un aéronef préprogrammé mécaniquement, conçu pour plonger sur sa cible après un nombre prédéfini de tours d'hélice. L'absence de guidage dynamique limite drastiquement la précision, mais le principe d'une arme aérienne sans pilote est établi. Ces engins sont des vecteurs à usage unique, sans retour, précurseurs des munitions rôdeuses modernes.

La deuxième phase se développe ensuite pendant la Guerre froide. Des cibles aériennes télécommandées servent à l'entraînement, puis des drones de reconnaissance apparaissent. Les États-Unis déploient massivement des drones de surveillance, Firebee ou AQM-34, durant la guerre du Vietnam afin de réduire l'exposition des pilotes. Les progrès en radiofréquence, en propulsion et en miniaturisation électronique permettent un contrôle à distance plus stable. L'UAV devient un outil de renseignement tactique et stratégique, mais son coût élevé et sa complexité technologique en réservent l'usage aux grandes puissances.

Puis débute les années 1990 avec l'intégration des liaisons satellitaires, des capteurs haute résolution et de l'armement embarqué. Le tournant symbolique est le **MQ-1 Predator américain** (voir Figure 1), déployé dans les Balkans puis en Afghanistan. L'UAV devient alors une plateforme **ISR** (« *Intelligence, Surveillance, Reconnaissance* ») complète, capable d'assurer surveillance, identification et frappe dans un même cycle opérationnel. La transmission en temps réel, tant pour recevoir que transmettre des données haute définition, devient centrale. Le drone s'intègre dans une architecture réseau-centrée, précède l'engagement des troupes, permet le ciblage dynamique et, dans certains cas, remplace l'intervention de commandos ou l'avion de chasse pour des frappes ciblées à moindre risque politique.

La quatrième phase correspond à la démocratisation et à la massification à partir des années 2010, avec une accélération nette lors du conflit du Haut-Karabakh en 2020, puis un changement d'échelle avec la guerre en Ukraine. Dans le Haut-Karabakh¹, l'usage intensif du **TB2 turc** et de munitions rôdeuses démontre l'efficacité de systèmes capables de patrouiller longtemps avant de plonger sur leur cible : en quelques semaines, une grande partie des blindés arméniens est détruite. En Ukraine, la baisse drastique des coûts des composants, la production en volume et l'intégration d'algorithmes d'aide au pilotage changent le rapport de force.

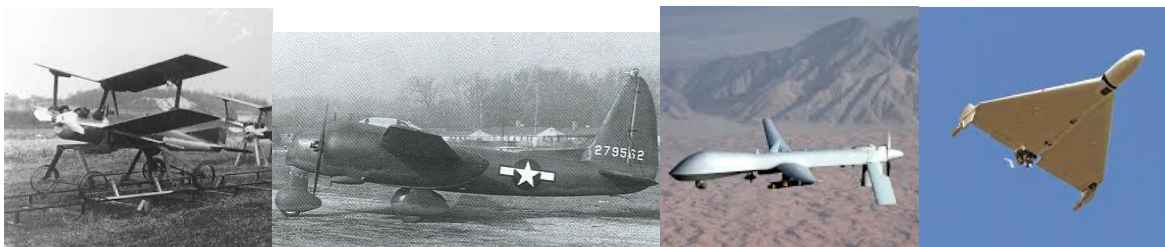


Figure 1 : Légende de gauche à droite : Kettering Bug, Fleetwings BQ-2, MQ-1-Predator et le Shahed iranien.

¹ MANDRAUD, Isabelle. « Dans le Haut-Karabakh, l'obsédante « guerre des drones ». *Le Monde* [en ligne], 28/10/2020 [consulté le 17/03/2026]. Disponible sur : https://www.lemonde.fr/international/article/2020/10/28/dans-le-haut-karabach-l-obsedante-guerre-des-drones_6057653_3210.html.

En moins de trente ans, l'UAV est passé d'outil de renseignement réservé aux grandes puissances à un système consommable accessible à n'importe quel acteur étatique ou non-étatique disposant de quelques dizaines de milliers d'euros.

Une hétérogénéité des systèmes qui impose une grille de lecture commune

Avant d'analyser les implications opérationnelles et industrielles de cette révolution, il convient d'établir un cadre conceptuel précis. La diversité des systèmes aujourd'hui désignés sous le terme générique de « drone » rend indispensable une définition rigoureuse. Un drone aérien ou un **UAV** (« *Unmanned Aerial Vehicle* ») se définit comme tout aéronef capable de voler sans pilote à bord, guidé soit par un opérateur distant, soit de manière autonome via un système de contrôle embarqué. Il se distingue du missile par sa capacité, au moins théorique, à effectuer plusieurs missions ou à être récupéré. Lorsque l'UAV est intégré à ses éléments de contrôle au sol, de communication et de soutien logistique, on parle d'**UAS** (« *Unmanned Aircraft System* »). La grille technique ci-dessus n'est cependant pas suffisante pour comprendre l'emploi opérationnel des UAV. Un même segment peut servir des missions radicalement différentes, un drone tactique peut assurer de l'ISR ou une frappe directe, et les frontières entre catégories s'estompent à mesure que les systèmes gagnent en polyvalence. La table ci-dessous propose une classification en fonction des caractéristiques importantes pour les drones aériens : la masse, la portée et l'altitude, le coût, l'endurance, la masse de la charge utile et les missions types.

Catégorie	Masse	Portée / Altitude	Coût unitaire	Enduran ce	Charge utile	Missions types
Nano / Micro- UAV	< 250 g	< 2 km < 400 m AGL	50 € – 2 k€	5 – 30 min	Charge explosive < 100 g Caméra FPV	Reconnaissance immédiate, leurre, frappe kamikaze, action en espace confiné
Mini-UAV (VTOL/aile fixe)	250 g - 5 kg	5 – 50 km < 1 500 m	2 k€ – 30 k€	30 min – 3 h	Caméra EO/IR, charge légère ≤ 500 g	Reconnaissance tactique avant-poste, réglage d'artillerie, transmission vidéo en temps réel
UAV Tactique	5 – 150 kg	50 – 200 km < 3 000 m	100 k€ – 1 M€	6 – 24 h	Capteurs EO/IR/SAR , charge militaire ≤ 50 kg	ISR de théâtre, frappe légère, guerre électronique embarquée, acquisition d'objectifs
UCAV / Loitering (Munition rôdeuse)	10 – 500 kg	20 – 2 000 km Variable	20 k€ – 500 k€	1 – 9 h en veille	Charge militaire 5–50 kg, ogive PGM	Saturation des défenses adverses, interdiction de zone, frappe de précision autonome, suppression des défenses antiaériennes

Catégorie	Masse	Portée / Altitude	Coût unitaire	Enduran ce	Charge utile	Missions types
MALE (Medium Altitude Long Enduranc e)	150 kg - 1,5 t	500 – 5 000 km 5 000 – 15 000 m	5 – 30 M€ / appareil (système complet : 50-150 M€)	20 – 40 h	Capteurs multi- spectres, armement (AGM, GBU), pod GE	ISR stratégique, frappe de précision.
HALE (High Altitude Long Enduranc e)	1,5 – 14 t	Intercontinenta l > 15 000 m	50 – 250 M€	24 – 96 h	Radar SAR grand champ, SIGINT, ELINT	Surveillance stratégique permanente, renseignement d'origine électromagnétique, veille nucléaire

Table 1 : Exemple d'une classification des drones aériens.

Une polyvalence croissante des missions qui redistribue les rôles sur le champ de bataille

Initialement conçu pour la seule observation, l'UAV s'est progressivement mué en plateforme multi-rôles. Nous distinguons aujourd'hui quatre grandes familles de missions : L'ISR, L'attaque, La défense ou lutte anti-drone et le soutien.

L'ISR : la mission fondatrice, toujours centrale

L'**ISR** (« *Intelligence, Surveillance, Reconnaissance* ») constitue la mission historiquement fondatrice de l'UAV militaire. Elle recouvre trois fonctions

imbriquées : la collecte de renseignement brut (*intelligence*), la surveillance permanente d'une zone d'intérêt (*surveillance*) et l'identification précise d'objectifs ou de mouvements ennemis (*reconnaissance*). Sur le plan technique, cela se traduit par l'emport de capteurs électro-optiques et infrarouges (EO/IR), de moyens d'écoute électronique (SIGINT, ELINT), voire de radar à synthèse d'ouverture (SAR) permettant la détection au travers des nuages ou du couvert végétal. Le renseignement collecté est transmis en temps réel aux cellules de commandement, qui ordonnent ou non la destruction de la cible via un autre vecteur.

L'avantage décisif de l'UAV dans cette mission tient à son endurance : un MQ-9 Reaper (de fabrication américaine) peut maintenir une permanence de 27h consécutives au-dessus d'une zone d'intérêt, là où un avion habité reste contraint par la physiologie de son pilote. Cette capacité de *stare*, observer fixement, sans interruption, confère à l'ISR-drone une valeur opérationnelle qu'aucun autre vecteur ne peut égaler à coût comparable. Dans le segment tactique, des plateformes comme le **Vector** ou le **Trinity F90+** de Quantum-Systems (Allemagne), le Parrot **ANAFI Skydiver** (France) ou le **Bayraktar Mini** (Turquie) assurent la *conscience situationnelle* au niveau section-compagnie. C'est-à-dire que des sections en missions peuvent à tout moment déployer ces types de petits UAV ISR pour acquérir des informations quelques kilomètres au loin. Dans le haut du spectre, le **RQ-4 Global Hawk** (USA) et le **MQ-4C Triton** (USA) garantissent une veille stratégique continue sur des théâtres entiers, à plus de 15 000 mètres et sur des durées dépassant trente heures. Initialement, pour ce type de missions, les UAV étaient désarmés mais cela évolue.

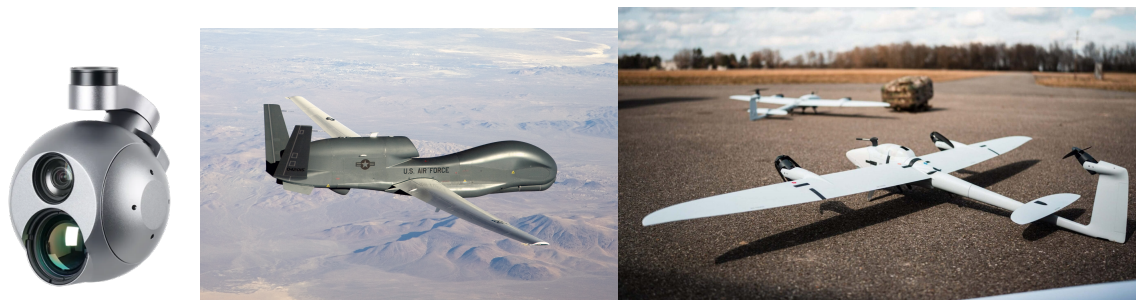


Figure 2 : Légende de gauche à droite : Capteur EO/IR, RQ-4- Global Hawk de Northrop Grumman et le Vector de Quantum System.

L'attaque : du cycle *find-fix-finish* à la frappe consommable²

L'intégration de l'armement embarqué à partir des années 2000 a transformé l'UAV ISR en plateforme de frappe, fondant le cycle doctrinal américain *find-fix-finish* : détecter, localiser, neutraliser avec un seul appareil. Mais les différentes formes d'attaque se sont aujourd'hui largement répandues avec quatre formes d'emploi offensif de la plus sophistiquée mais chère à la plus répliquable. **La frappe ciblée de précision** engage des plateformes sophistiquées contre des cibles à haute valeur identifiée : missiles **AGM-114 Hellfire** du MQ-1 Predator, bombes **GBU-12** du MQ-9 Reaper, bombes **MAM-L** et **MAM-C** du TB2 Bayraktar. A noter que ces bombes ou missiles sont aussi bien utilisés sur ces plateformes de drone que sur des hélicoptères ou navires de guerre. Ces systèmes de drone, dont le coût unitaire dépasse plusieurs millions d'euros, sont réservés aux États disposant d'une infrastructure de commandement complète. A titre d'exemple, le missile à guidage radar AGM-114-Hellfire a un coût à l'unité de l'ordre de 150 000\$. Dans cette logique de frappe de haute précision en environnement contesté, Anduril Industries développe le drone de combat Fury, conçu pour opérer en architecture *manned-unmanned teaming* aux côtés d'avions pilotés.

² EDWARDS, Lloyd. « Fix to Finish : The Impact of New Technologies on the Special Operations Approval Process ». *Harvard Kennedy School*, mai 2016.

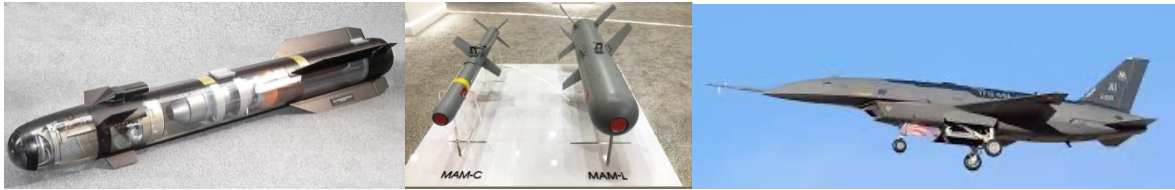


Figure 3 : Légende de gauche à droite : AGM-114 Hellfire développé par Lockheed Martin, MAM-L et MAM-C et le drone d'attaque Fury développé par la startup américaine Anduril.

Les drones les plus sophistiqués réalisent donc des frappes ciblées de très haute précision. Toutefois, depuis la fin des années 2010, une nouvelle catégorie est apparue : des drones conçus pour agir comme des munitions rôdeuses.

La munition rôdeuse (« *loitering munition* ») représente une forme hybride entre le drone et le missile : l'engin patrouille plusieurs heures au-dessus d'une zone, détecte et identifie sa cible de manière autonome ou semi-autonome, puis s'y écrase pour la neutraliser, en mode kamikaze. Le **Harop israélien** (portée ~1 000 km), le **Lancet russe**, le **Switchblade 600** américain et le plus connu d'entre eux, le **Shahed-136** iranien au coût unitaire de la classe 20 k€ à 50 k€ sont les systèmes au meilleur rapport qualité prix du segment. En France, la solution à date la plus avancée serait la munition MX-10 co développée par Delair et KNDS.

Quand ces munitions sont utilisées en masse, il s'agit **d'attaque en essaim** (*swarm attack*), la logique de saturation de l'espace aérien est poussée à son terme. En engageant simultanément des dizaines à des centaines d'unités contre un même objectif défensif, elle vise à le submerger par le volume, rendant toute interception exhaustive économiquement et techniquement impossible.

Enfin, le **drone FPV** (« *First Person View* ») représente la forme la plus frugale de l'attaque ou de frappe directe : un engin de 250 à 800g, souvent un drone civil customisé chargé de 100 à 300 grammes d'explosif et piloté en immersion via des lunettes à retour vidéo. Son coût unitaire est inférieur à 500 euros ; sa signature radar et infrarouge est quasi nulle. L'Ukraine en produit plusieurs millions par an dans des ateliers semi-industriels, avec des cycles d'itération de quelques

semaines. Sa principale limite est son autonomie de cinq à trente minutes qui rend sa portée inférieure à dix kilomètres en conditions non brouillées. Cela est partiellement contournée par les drones filaires (« *tethered drones* »), comme ceux développés par la société française Elistair, qui garantissent une liaison ininterrompue et une endurance quasi illimitée mais au prix d'un rayon d'action restreint. Attaquer une cible n'a donc jamais été aussi facile et peu coûteux. Des solutions de contre-mesures ont donc vu le jour.

La défense et la lutte anti-drones : une mission symétrique devenue prioritaire

La généralisation des UAV offensifs a mécaniquement fait émerger une mission défensive symétrique : la lutte contre les systèmes aériens sans pilote, désignée sous le terme de **C-UAS** (« *Counter-Unmanned Aircraft Systems* »).

La première étape consiste à identifier et localiser ces drones. Selon leur catégorie, leur détection peut s'avérer particulièrement difficile, notamment en raison de leur très faible signature radar liée à leur taille réduite, à leur vitesse relativement basse. Les radars conventionnels peinent ainsi à distinguer ces objets du bruit de fond. Pour répondre à cette contrainte, de nouvelles solutions de détection se développent, combinant des radars à faible signature dotés de traitements Doppler avancés, des capteurs acoustiques capables de reconnaître le bruit caractéristique des moteurs, ainsi que des systèmes de détection radiofréquence permettant d'identifier l'empreinte électromagnétique d'un drone à plusieurs kilomètres. Parallèlement, des systèmes de vision assistée par IA sont en cours de développement afin d'automatiser la reconnaissance visuelle de ces menaces. Certains systèmes initialement conçus pour la détection d'aéronefs conventionnels ont également été adaptés pour intégrer cette nouvelle catégorie de cibles ; le radar **Ground Fire 300** développé par Thales Group par exemple. Dans le conflit ukrainien, des approches encore plus originales ont été

expérimentées : les autorités ont par exemple sollicité les habitants de certaines régions afin qu'ils autorisent l'accès au microphone de leur téléphone. Les sons captés sont alors agrégés et analysés à distance par un système centralisé, permettant de détecter rapidement les drones grâce à leur signature acoustique.

Une fois, identifié, ce qui n'est pas tâche ardue, la neutralisation peut être cinétique (intercepteur à projectile, drone chasseur équipé de filet, missiles courte portée, drone kamikaze) ou non cinétique : brouillage des fréquences de contrôle (*jamming*), leurrage du signal GPS (*spoofing*), ou armes à énergie dirigée (comme les lasers haute puissance de Rheinmetall ou de Raytheon, capables de neutraliser des essaims à un coût marginal de quelques euros par engagement. La société française Harmattan AI, comme de nombreux autres acteurs de la base industrielle et technologique de défense et des acteurs émergents, développe un intercepteur cinétique nommé Gobi.



Figure 4 : Légende de gauche à droite : GM 300 de Thales et le Gobi d'Harmattan AI

Il n'est ni soutenable ni stratégiquement acceptable qu'un missile à un million d'euros embarqué sur un avion de chasse constitue la seule réponse à un drone à quelques dizaines de milliers d'euros. **La recherche d'asymétrie inverse, neutraliser à bas coût ce qui attaque à bas coût, est devenue une priorité doctrinale et industrielle pour toutes les grandes armées.**

Les missions de soutien : discrets mais structurants

Moins médiatisées, les missions de soutien forment une quatrième catégorie en expansion rapide dont l'importance opérationnelle est souvent sous-estimée. Le relais de communications est la plus critique en environnement dégradé : dans un relief montagneux, une zone urbaine dense ou sous brouillage ennemi, un UAV en altitude sert de nœud de réseau temporaire maintenant les liaisons entre unités déconnectées, en remplacement d'une antenne relais. Le ravitaillement logistique de positions enclavées constitue une deuxième application : les Marines américains ont validé opérationnellement l'usage de drones cargo pour l'acheminement de munitions et de matériel médical sans exposer de convoi terrestre. La guerre électronique offensive est aussi un enjeu : un UAV peut emporter des pods de brouillage des communications ennemies ou participer à la suppression des défenses aériennes adverses en forçant l'activation des radars pour les exposer aux missiles anti-radiations. Enfin, le leurrage stratégique, engagé délibérément un drone sacrificiel pour épuiser les missiles sol-air adverses ou révéler la position de leurs batteries, est souvent utilisé en Ukraine comme au Moyen-Orient.

Une révolution des usages qui contraint les armées à repenser leurs doctrines

La généralisation des UAV oblige les armées à repenser leurs doctrines, leurs structures et leurs priorités capacitaires. Le retour de la guerre de haute intensité en Ukraine remet partiellement en cause des décennies de paradigme orienté vers la dissuasion et les opérations extérieures à faible intensité. Ces dernières décennies, les armées conventionnelles ont prioritairement investi dans des systèmes d'armes sophistiqués, optimisés pour la dissuasion ou pour des missions à taux de succès élevé dans des théâtres avec asymétrie de théâtre. Le

retour de la guerre de haute intensité renverse partiellement cette logique : une armée doit désormais savoir gérer un conflit prolongé, produire en masse et encaisser des pertes matérielles à un rythme industriel. Cela a deux conséquences directes. D'une part, des équipements sophistiqués et coûteux peuvent être rapidement saturés : une défense antiaérienne submergée par des centaines de drones bon marché, ou un char identifié et ciblé par l'un des milliers de drones de reconnaissance envoyés quotidiennement sur le front. D'autre part, la production en masse d'appareils moyennement sophistiqués, améliorés au fur et à mesure de la bataille, peut primer sur la sophistication unitaire.

Le recours iranien aux drones Shahed-136 en est un exemple. Ne disposant pas de missiles suffisamment performants pour percer des défenses les plus sophistiquées, l'Iran déploie des Shahed-136, certes individuellement plus simples à détruire que des missiles, mais extrêmement difficiles à neutraliser lorsqu'ils sont envoyés simultanément par dizaines. Produit à des coûts de plusieurs dizaines de milliers d'euros l'unité, soit environ quelques dizaines de pourcent du coût d'un missile de croisière conventionnel, le Shahed permet d'attaquer sur plusieurs fronts simultanément à un coût plus réduit. Ces armes peuvent même être lancées depuis n'importe quel point sans nécessiter de vecteur dédié (avion de chasse, navire ou sous-marin) rendant la défense par anticipation et la localisation de l'assaillant plus difficiles.

Un retard capacitaire français qui révèle les limites d'une doctrine héritée des OPEX

La France dispose d'une doctrine d'emploi des drones formalisée, portée par l'Armée de l'air et de l'espace, l'Armée de terre et la Marine nationale. Elle a cependant accusé un retard structurel sur plusieurs segments, en particulier sur

les drones les plus petits. Ce retard est partiellement en cours de correction, mais les délais des grands programmes restent préoccupants. La France dispose à ce jour, de manière non exhaustive, des systèmes suivants :

- Six drones MQ-9A Reaper Block 1 (capacité ISR longue endurance), valeur unitaire autour de 130 M€ ;
- Six drones MQ-9A Reaper Block 5 (capacité de désignation d'objectifs améliorée) ;
- Des drones SDT Patroller de Safran (renseignement et surveillance de théâtre), valeur unitaire estimée à 10 M€ ;
- Des drones Parrot ANAFI (reconnaissance légère au niveau tactique) ;
- Plusieurs appels d'offres sont en cours pour se doter de drones d'interception et de drones d'attaque.

Initialement, la France ambitionnait de se doter de drones MALE/HALE souverains dans le cadre du programme **Eurodrone**, mené en coopération avec l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne. Le programme prévoit l'acquisition de 60 aéronefs pour un montant total estimé à 7,1 Md€, dont 12 systèmes destinés aux forces françaises. La mise en service est actuellement envisagée à l'horizon 2031, sous maîtrise d'œuvre d'Airbus Defence and Space, avec la participation de Dassault Aviation et de Leonardo. Cependant, le programme accumule des retards significatifs, ce qui rend incertaine une entrée en service effective au début des années 2030. Dans ce contexte, la France envisagerait de se retirer du programme³. Au-delà des délais, la DGA s'interrogeait sur la pertinence opérationnelle de drones de grande taille dans des conflits de haute intensité.

³ LAMIGEON, Vincent. « Le drone d'hier qu'on aura peut-être demain » : la France tout près de s'éjecter de l'Eurodrone ». *Challenges* [en ligne], 11/02/2026 [consulté le 17/03/2026]. Disponible sur : https://www.challenges.fr/entreprise/defense/le-drone-dhier-quon-aura-peut-etre-demain-la-france-tout-pres-de-sejecter-de-leurodrone_639536.

Sur le segment MALE/HALE, les opérations extérieures Barkhane au Sahel et Chammal en Irak-Syrie ont permis d'utiliser en conditions opérationnelles ces solutions. L'usage intensif du Reaper dans ces théâtres a validé la pertinence du drone MALE pour des missions d'ISR longue durée dans des environnements à faible contestation. Cependant, ces expériences n'ont pas préparé les armées françaises à la haute intensité : utilisation en essaim, opération sous brouillage, drones tactiques à l'échelle de la section. L'armée française accuse donc un retard sur les autres segments.

En ce sens, une mission d'information du Sénat a publié un rapport sur la préparation à la guerre des drones⁴. Elle rappelle que la France a mis du temps à appréhender la pleine mesure du défi des petits drones à bas coût. Si elle s'est dotée de drones MALE via le MQ-9 Reaper américain, faute d'avoir pu produire à temps une solution souveraine, elle a, comme la plupart des armées occidentales, découvert l'ampleur du problème lors des guerres du Haut-Karabakh et d'Ukraine. Ce rapport souligne plusieurs retards structurels : insuffisance de la filière industrielle nationale, dépendance aux composants étrangers dont chinois, lenteur des procédures d'acquisition et absence de drones sacrificiables pour les missions à haute intensité. Selon les sénateurs, les armées françaises doivent **1) se doter de micro-drones sacrificiables** utilisés comme leurres ou vecteurs d'attaque saturante, **2) développer des munitions téléopérées souveraines** et **3) déployer une capacité anti-drones** multicouches connectée aux défenses sol-air existantes et exploitant l'IA pour l'analyse de menace et la sélection de la réponse.

Pour combler ces lacunes capacitaires, la DGA a lancé fin 2022 le programme **PARADE**, accompagné de plusieurs appels d'offres visant à accélérer l'intégration de nouvelles solutions de drones au sein des forces armées

⁴ PERRIN, Cédric ; ROGER, Gilbert ; SIDO, Bruno & BONNEAU, François. *Préparer à la « guerre des drones » : un enjeu stratégique - Rapport d'information n° 711 (2020-2021)* [en ligne]. Sénat, 23/06/2021. Disponible sur : <https://www.senat.fr/rap/r20-711/r20-711.html>.

françaises. Cette initiative s'appuie largement sur l'écosystème de startups et de PME nationales, parmi lesquelles Delair, Harmattan AI, Alta Ares et Atreyd, sollicitées pour développer des systèmes adaptés aux besoins opérationnels récents.

Dans ce cadre, la DGA a récemment commandé puis reçu, en moins d'un an, 1 000 drones Sonora développés par Harmattan AI. Ces drones sont principalement destinés à l'entraînement des troupes face à la menace croissante des drones tactiques. Il s'agirait de la livraison la plus rapide réalisée par la DGA entre la signature d'un contrat et la réception des équipements, illustrant une volonté d'accélérer fortement les cycles d'acquisition.

Cette évolution se manifeste également dans le projet de drone longue portée **Chorus**, pour lequel la DGA a choisi de s'écarter de ses processus d'acquisition traditionnels. Le développement de ce drone kamikaze, dont la portée visée serait de l'ordre de 1 000 km, a été confié à l'ETI **Turgis Gaillard** en partenariat avec Renault Group. L'objectif industriel affiché serait de parvenir, à terme, à une capacité de production pouvant atteindre 600 unités par mois sur des sites industriels de Renault. La DGA assume ici une prise de risque inhabituelle en lançant le programme sans que l'ensemble des briques technologiques ne soit totalement dérisqué, avec l'idée d'accélérer le développement et d'améliorer progressivement le système au contact des opérations.

À ce stade, l'armée française n'a pas annoncé d'acquisition de solutions américaines ou européennes existantes pour couvrir ce segment (drone de petite catégorie) et privilégie le développement d'alternatives souveraines. Dans cette logique, le nouveau délégué général pour l'armement a récemment présenté une feuille de route visant à adapter les processus d'acquisition aux spécificités du secteur des drones. L'accent serait mis sur des cycles d'appels d'offres plus courts, moins itératifs, ainsi que sur une interaction plus étroite entre les besoins opérationnels formulés par les armées et les industriels chargés de développer les

systèmes. En parallèle de cela, la doctrine française sur les drones semble s'articuler autour :

- de la complémentarité avec les moyens pilotés : le drone n'est pas perçu comme un substitut à l'avion de chasse ou à l'hélicoptère d'attaque, mais comme un multiplicateur de force. C'est la logique du programme SCAF (s'il voit le jour), qui prévoit l'intégration d'un avion de chasse de cinquième génération avec des drones de combat en soutien, Dassault ayant en ce sens noué un partenariat stratégique avec Harmattan ;
- l'intégration dans la bulle de coordination aérienne : tout drone opérant au-dessus de 150 mètres doit être coordonné avec le contrôle aérien tactique ;
- le principe de « boucle courte » : le cycle détection-décision-frappe doit être minimisé, idéalement inférieur à cinq minutes pour les opérations contre-terroristes, trente minutes pour les opérations conventionnelles.

Pour information, la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées du Sénat vient d'entamer une mission d'information sur les évolutions des drones, la lutte anti-drones et l'usage de l'IA dans ces domaines dont les conclusions sont attendues fin 2026.

Un enjeu économique structure cette mission de manière durable : il n'est ni soutenable ni stratégiquement acceptable qu'un missile à un million d'euros embarqué sur un avion de chasse constitue la seule réponse à un drone à cinq cents euros. La recherche d'asymétrie inverse, neutraliser à bas coût ce qui attaque à bas coût, est devenue une priorité doctrinale et industrielle pour toutes les grandes armées.

Des briques technologiques critiques qui déterminent la supériorité opérationnelle

La performance d'un drone militaire ne repose pas uniquement sur la plateforme elle-même, mais sur un ensemble de briques technologiques qui conditionnent sa capacité à survivre, à se repérer, à communiquer et à accomplir sa mission dans un environnement contesté. Identifier ces briques est donc essentiel. Un pays qui souhaite conserver un avantage stratégique dans ce domaine doit concentrer ses efforts industriels et technologiques sur ces points de dépendance. La maîtrise de chacune d'entre elles constitue un avantage compétitif déterminant.

Guerre électronique et brouillage : la brique la plus critique mais très coûteuse

Un drone militaire opère dans un environnement électromagnétique hostile. Les adversaires cherchent à perturber ou couper trois types de liaisons : la liaison de commande et contrôle (C2, *uplink*), la liaison de retour de données (*downlink*, vidéo/télémétrie) et la navigation GPS. La guerre électronique est ainsi devenue le premier facteur de dégradation des capacités drones dans les conflits actuels.

La réponse technologique principale est l'architecture SDR (*Software Defined Radio*). Contrairement aux radios traditionnelles dont les fréquences sont figées dans le matériel, un SDR implémente toutes ses fonctions en logiciel, permettant de changer dynamiquement de fréquence d'émission (*frequency hopping*), d'adapter la modulation du signal en temps réel et de contourner le brouillage. En pratique, un drone équipé d'un SDR performant peut sauter sur des dizaines de fréquences par seconde, rendant le brouillage à fréquence fixe inefficace. Les standards de communication militaire sécurisés, d'une part « *Have Quick* » et « *Saturn* » pour les liaisons OTAN, liaison 16 pour la données tactique intègrent ces mécanismes. Leur implémentation sur des plateformes à bas coût reste

cependant un défi : la consommation d'énergie des SDR haute performance est incompatible avec les contraintes de masse et d'autonomie des micro et mini-drones.

Face à un brouillage total des liaisons C2, un drone peut basculer dans plusieurs modes dégradés selon son niveau d'autonomie : retour automatique au point de départ (RTH), maintien du cap et de l'altitude jusqu'à épuisement de la batterie, ou exécution d'une mission préprogrammée. Ces modes dégradés constituent eux-mêmes des vecteurs d'exploitation adverse : un attaquant peut volontairement déclencher le RTH pour localiser la position de l'opérateur. **La maîtrise du spectre électromagnétique est donc aussi importante que la maîtrise du ciel.**

IA embarquée et reconnaissance d'images : l'autonomie comme horizon

L'IA embarquée dans un drone remplit cinq fonctions principales : détection automatique d'objets dans le flux vidéo, suivi de cibles mobiles, classification ami/ennemi/neutre, aide à la navigation en environnement GPS-dégradé et prise de décision autonome dans les munitions à guidage terminal.

Les algorithmes de détection reposent sur des réseaux de neurones convolutifs dits CNN. Des modèles, comme YOLO v8, permettent une détection d'objets en temps réel sur du matériel embarqué léger avec des latences inférieures à 50 ms. Entraînés sur des jeux de données spécifiques, ces modèles atteignent des taux de détection de 80 à 95 % dans des conditions optimales. Leur performance se dégrade fortement avec le camouflage, les conditions météorologiques difficiles et les leurres. La startup allemande Helsing, spécialisée dans ces systèmes et valorisée à 12 Md€, aurait enregistré des taux de succès opérationnel autour de

34 % sur certains systèmes de ciblage déployés en Ukraine. Ceci illustre la difficulté à entraîner ces modèles en conditions opérationnelles.

Lorsqu'une cible est identifiée mais que le drone est simultanément brouillé, **la navigation par recalage d'image constitue une alternative efficace et moins coûteuse que les systèmes anti-brouillage haute performance**. Cette technique, issue des missiles de croisière, permet à un drone de se localiser en comparant en temps réel les images de sa caméra avec une carte mémorisée de la zone. Elle exige une cartographie préalable de qualité et n'est efficace que si le terrain est suffisamment distinctif, zones urbaines ou côtières plutôt que déserts homogènes. Mais, les algorithmes d'IA embarquée présentent trois limites opérationnelles importantes :

- De légères modifications d'une cible (changement de couleur des drones, ajout de filets de camouflage spécifiques) peuvent tromper un algorithme de détection avec un taux de succès élevé.
- La dépendance aux données d'entraînement : un modèle entraîné sur des véhicules russes en Europe de l'Est sera moins performant face à des équipements différents.
- Les biais de classification : dans un environnement civil complexe, la distinction entre civils et combattants reste un défi non résolu, avec des implications juridiques considérables au regard du droit international humanitaire. Cette limite explique en partie les réticences d'acteurs comme Anthropic à céder sur l'usage de leurs modèles dans des systèmes d'armes létaux autonomes. D'ailleurs, la France a adopté une position de principe : le déclenchement d'une frappe létale doit toujours impliquer une décision humaine significative et non superficielle.

Architecture essaim et intelligence collective : la rupture à venir

L'évolution la plus marquante des prochaines années sera le passage du drone isolé à l'essaim autonome. Un essaim correspond à un ensemble de drones capables de coordonner leurs actions entre eux grâce à un réseau de communication maillé, sans dépendre d'un centre de contrôle unique. Cette architecture offre plusieurs avantages opérationnels. Elle est d'abord plus résiliente : la perte de quelques drones ne compromet pas l'ensemble de la mission. Elle est ensuite plus efficace, car la coordination collective permet d'obtenir un comportement global supérieur à celui d'unités opérant individuellement. Enfin, elle permet la saturation des défenses, puisqu'un grand nombre de drones attaquant simultanément peut submerger les systèmes de défense antiaérienne traditionnels.

Dans ce type de configuration, chaque drone joue à la fois le rôle de capteur, de relais de communication et d'unité de calcul. Les informations sont partagées entre les appareils via des protocoles maillés, ce qui crée un réseau distribué dont la portée et la robustesse augmentent avec le nombre de drones engagés. Des approches permettent à l'essaim d'adapter collectivement son comportement pour accomplir une mission donnée. L'entraînement de ces algorithmes repose largement sur la simulation, qui permet de faire émerger des stratégies parfois contre-intuitives à l'échelle d'un drone mais particulièrement efficaces en situation opérationnelle à l'échelle de l'essaim.

Une compétition industrielle mondiale qui place le volume au cœur de la stratégie

La compétition dans le domaine des drones est autant industrielle qu'opérationnelle. La capacité à produire en volume, à réduire les coûts et à itérer

rapidement constitue un avantage stratégique aussi important que la performance technique des plateformes.

Le principal enseignement de la guerre en Ukraine est l'importance décisive du volume de production. L'Ukraine perd en moyenne quelques dizaines de milliers de drones par semaine et doit maintenir une production équivalente pour rester opérationnelle. Cette réalité a poussé à développer un modèle décentralisé, distribué dans des centaines d'ateliers semi-industriels, avec une standardisation des composants permettant un assemblage rapide. La durée de vie opérationnelle moyenne d'un drone FPV est d'une à trois missions avant destruction ou capture. La version logicielle et matérielle peut évoluer toutes les deux à quatre semaines selon le retour terrain, soit dix à cinquante fois plus vite que les cycles d'acquisition des armées conventionnelles.

L'ère actuelle des drones militaires favorise un modèle radicalement différent des grands programmes d'armement traditionnels et repose sur :

- L'itération rapide d'abord, avec un cycle inférieur à six semaines : le retour du terrain doit alimenter directement les équipes d'ingénierie. L'adaptation continue au besoin opérationnel ensuite : contrairement aux spécifications figées des grands programmes, les drones de combat doivent évoluer en réponse aux contre-mesures adverses, parfois en quelques jours, ce qui exige une proximité permanente entre opérateurs et ingénieurs.
- La conception orientée production de masse (*Design for Manufacturing*): un drone doit pouvoir être assemblé en quelques heures avec des composants standardisés disponibles sur étagère, interchangeables entre modèles.
- La validation terrain immédiate : le cycle fabriquer-tester-corriger doit s'effectuer au plus près du front, en conditions réelles. La simulation seule ne suffit pas.

La valeur différenciante dans un drone n'est plus dans le matériel, commodité et majoritairement chinois, mais dans les briques technologies vues au-dessus : algorithmes de vol, fusion de capteurs, traitement d'image, interface opérateur. C'est sur ce segment que l'innovation doit se focaliser.

De nouveaux acteurs qui recomposent le marché et font émerger un risque de bulle

Le marché des UAV connaît une recomposition profonde sous l'effet conjugué de l'afflux de capitaux post-2022, de la porosité croissante entre marchés civil et militaire, et de l'émergence de nouveaux entrants issus du numérique. Certains acteurs se concentrent sur les plateformes MALE et HALE, dont le développement reste coûteux et très long. En revanche, **pour les autres catégories de drones, la barrière à l'entrée est fortement réduite.** Grâce aux solutions de drone issues du marché civil, ces nouveaux acteurs se focalisent sur la brique logicielle afin de rendre leurs systèmes performants, ce qui permet des cycles de développement cinq à dix fois plus courts que ceux des industriels historiques.

Il n'est plus nécessaire d'investir des centaines de millions sur des programmes de plusieurs années pour développer une architecture complexe sur le segment des petits drones. En dix-huit mois, des dizaines de startups se sont créées sur des segments déjà encombrés dont beaucoup ne parviendront jamais à atteindre l'échelle industrielle nécessaire à la rentabilité. Cela a pour conséquence, des valorisations qui dépassent parfois les *fondamentaux économiques* : Helsing, par exemple, est valorisée à 12 Md€ pour un CA inférieur au milliard, et des produits loin d'être matures. Il est possible que le marché traverse une bulle. La France doit donc faire preuve de prudence dans le choix de ces acteurs, favoriser l'innovation et la concurrence, tout en s'assurant de disposer de solutions fiables, souveraines, performantes et industrialisables. **L'urgence géopolitique et les financements**

publics massifs créent une pression à l'entrée qui peut masquer des insuffisances techniques réelles.

Par ailleurs, l'évolution des technologies de guerre électronique, de l'IA peut rapidement rendre obsolètes des plateformes ayant reçu des investissements massifs. **Une solution livrée à l'armée doit donc être continuellement améliorée pour rester opérationnelle sur la durée.** Le temps où un Rafale disposait de quinze ans d'avance à sa sortie est révolu. La valeur se déplace désormais structurellement vers la modularité et la capacité de mise à jour logicielle continue, plutôt que vers la plateforme matérielle elle-même.

Ouverture : Les drones remplaceront-ils les armes conventionnelles ?

La question mérite d'être posée avec nuance. Les drones ne remplacent pas encore les avions de chasse, les sous-marins ou les blindés dans leurs fonctions les plus exigeantes : supériorité aérienne en espace fortement contesté, frappe à très longue portée, manœuvre terrestre de masse. En revanche, ils redistribuent profondément les rôles : le drone tactique remplace le fantassin pour la reconnaissance à courte distance, la munition rôdeuse concurrence le missile de croisière à courte et moyenne portée, et l'essaim autonome met en défaut les systèmes de défense ponctuelle. Les drones sont redoutablement efficaces dans les conflits à haute densité et faible contestation électronique, mais restent vulnérables en environnement de brouillage sophistiqué. L'armée qui intégrera le mieux la complémentarité entre systèmes pilotés et non pilotés, et non celle qui abandonnera les uns pour les autres, disposera de l'avantage décisif.



publication@jeunes-ihedn.org